

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**М. М. СЕМЕНОВ, О. К. ЧЕРЕДНІЧЕНКО,
Ю. О. ШАПОВАЛОВ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни "Обробка технологічних рідин
та стічних вод"**

Рекомендовано Методичною радою НУК

Електронне видання
комбінованого використання на DVD-ROM



МИКОЛАЇВ ♦ НУК ♦ 2016

УДК 628.32(076.5)
ББК 38.761.104я73
С 30

Автори: М. М. Семенов, старш. викл.;
О. К. Чередніченко, канд. техн. наук, доц.;
Ю. О. Шаповалов, канд. техн. наук, доц.

Рецензент Б. Г. Тимошевський, д-р техн. наук, професор

Семенов М. М.

С30 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни
"Обробка технологічних рідин та стічних вод" / М. М. Семенов,
О. К. Чередніченко, Ю. О. Шаповалов. – Миколаїв : НУК, 2016. – 55 с.

Методичні вказівки містять опис шести лабораторних робіт та методичні аспекти їх виконання. Роботи охоплюють коло знань про пристрої та принципи дії різноманітних апаратів з очищення рідин та сприяють розвитку навичок самостійного дослідження та конструювання систем з водопідготовки.

Призначено для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 144 "Теплоенергетика".

УДК 628.32(076.5)
ББК 38.761.104я73

Навчальне видання

СЕМЕНОВ Микола Миколайович
ЧЕРЕДНІЧЕНКО Олександр Костянтинович
ШАПОВАЛОВ Юрій Олександрович

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання лабораторних робіт
з дисципліни "Обробка технологічних рідин
та стічних вод"**

Комп'ютерне складання та верстання *А. Д. Літвінова*
Коректор *М. О. Паненко*

© Семенов М. М., Чередніченко О. К.,
Шаповалов Ю. О., 2016
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2016

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 3,3. Об'єм даних 1141 кб.
Тираж 15 прим. Вид. № 2. Зам. № 44.

Видавець і виготовник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025
E-mail : publishing@nuos.edu.ua

Свідчення суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

МЕТА І ЗАВДАННЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Мета вивчення дисципліни – вивчення методів обробки води, питань проектування й експлуатації водопідготовчого устаткування.

Завдання вивчення дисципліни – набуття навиків вибору складу устаткування, визначення якості підготовки води, отримання знань з основ проектування та режимів експлуатації водопідготовчого устаткування.

Зв'язок з іншими дисциплінами – для вивчення дисципліни необхідні знання, отримані з курсів "Вищої математики", "Хімії", "Фізики", "Термодинаміки" і "Тепломасообміну". У свою чергу, знання, отримані з дисципліни "Обробка технологічних рідин та стічних вод", використовуються при вивченні дисциплін "Топки та котельні установки ТЕС і промислових підприємств, парогенератори АЕС", "Теплові двигуни", "Енергетичні ядерні реактори", "Джерела та системи теплопостачання промислових та комунальних об'єктів", а також при курсовому і дипломному проектуванні.

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Перед виконанням робіт необхідно вивчити основні теоретичні положення, ознайомитися з лабораторними стендами та записати метрологічні характеристики засобів вимірювання. У лабораторних роботах 1, 2, 4 та 5 слід записати діапазон вимірювання, ціну поділки і допустиму похибку бюреток, мірних стаканів і колб; у лабораторній роботі 1, 4 – діапазон вимірювання, ціну поділки і клас точності рН-метра.

Після завершення лабораторних робіт кожен студент повинен скласти звіт, в якому наводяться основні теоретичні положення, схема лабораторної установки, необхідні розрахунки в супроводі з необхідним поясненнями, оцінка похибки вимірювання кожного параметра. Числові значення похибок необхідно занести до таблиці для запису результатів вимірювань і розрахунків. Звіт завершується аргументованим висновком.

Звіт подається студентом при складанні заліку з даної дисципліни.

Наведені в лабораторних роботах методики можуть використовуватися при оцінці показників якості води для наступних цілей водокористування: для господарсько-питного водопостачання; при підготовці додаткової води для електростанцій, що працюють на органічному або ядерному паливі;

при підготовці додаткової води для парових котлів різного призначення; для підживлення теплових мереж.

Виконання лабораторних робіт і обробка результатів дослідів дозволяють оцінити якість води. У реальних умовах експлуатації знання характеристик води необхідне для організації оптимальних режимів роботи теплоенергетичного устаткування. При проведенні аналізу результатів лабораторних дослідів доцільно відзначити:

- 1) до якого типу водокористання слід віднести пробу води, що аналізується;
- 2) вплив дослідженої води на роботу теплоенергетичного устаткування (утворення накипу, шламу, корозії);
- 3) рекомендації з обробки вихідної води для отримання води з нормованими характеристиками.

Деякі довідкові матеріали, необхідні для аналізу, наведені в додатках.

Замість лабораторних робіт, запропонованих у даних вказівках, студенти можуть виконати роботи дослідницького характеру, пов'язані з підготовкою і використанням води в умовах підприємства, скеровані на вдосконалення роботи водопідготовчого устаткування й устаткування котельного цеху (котельна установка, деаератори, різного типу підігрівачі). Змістом цих дослідницьких робіт може бути:

- а) визначення характеристик води (вміст солі, кремнію, вільної вуглекислоти, хлоридів, сульфатів, рівень кислотності, загальної жорсткості та ін.);
- б) розгляд технології знесолення води (хімічного, термічного, електроіонітного та ін.); визначення присосу охолоджуючої води в конденсаторі парової турбіни; вплив існуючої підготовки води на роботу котельної установки;
- в) теплохімічні випробування котельної установки тощо.

ОХОРОНА ПРАЦІ І ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Організація безпечної роботи при виконанні лабораторних робіт на кафедрі ССЕУ проводиться відповідно до вимог ДСТУ 2293-99 "Охорона праці. Терміни та визначення основних понять", ДБН В.1.1-7-2002 "Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва", ДСН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення" ДСН 3.3.6.037-99 "Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку" ДСН 3.3.6.039-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації", ДСН 3.3.6.042-99 "Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень".

До роботи на лабораторних установках допускаються студенти, які мають теоретичну підготовку з дисципліни, пройшли інструктаж з техніки безпеки і залишили свій підпис у відповідному журналі.

Під час проведення лабораторних робіт необхідно суворо дотримуватися наступних правил:

1. **Забороняється** заливати воду в ємності, що містять концентрований розчин сірчаної кислоти.

2. При потраплянні кислоти високої концентрації на відкриті ділянки шкіри необхідно видалити сухою ганчіркою або ватою кислоту з ураженої ділянки, промити місце опіку 2%-м розчином бікарбонату натрію або водою, терміново звернутися в пункт медичної допомоги. Якщо кислота потрапила на слизисту оболонку ока, його необхідно промити великою кількістю води, потім 0,5%-м розчином бікарбонату натрію і терміново звернутися в пункт медичної допомоги.

3. У разі попадання лугів на відкриті ділянки тіла або в очі для промивання можна використовувати відповідно 1%-й розчин оцтової кислоти і 2%-й розчин борної кислоти.

4. **Забороняється** використовувати лабораторний посуд не за призначенням.

5. **Забороняється** досліджувати реактиви на смак.

6. При визначенні запаху повітря з парами речовин слід підганяти його до носа помахами долоні.

7. Під час роботи з вогнебезпечними речовинами необхідно стежити, щоб поблизу не було відкритого вогню або сильно нагрітих предметів.

8. При опіках уражені ділянки не можна промивати водою і розкривати пухирі.

Після закінчення лабораторних робіт необхідно привести до ладу робоче місце.

Студенти, що не виконують правила техніки безпеки, відстороняються від проведення лабораторних робіт.

Лабораторна робота № 1

ВИЗНАЧЕННЯ АКТИВНОСТІ ІОНІВ ВОДНЮ

(ЗНАЧЕННЯ pH ВОДИ)

I. Мета роботи

Практичне освоєння методики визначення реакції води (кисла, нейтральна, лужна); набуття навиків експериментальної оцінки якості води, яка використовується в теплоенергетичних установках.

II. Основні теоретичні положення

Всі домішки, що забруднюють воду, можна розділити за ступенем дисперсності на три групи: 1) грубодисперсні з розмірами частинок більше 100 нм; 2) колоїдно-дисперсні з розмірами частинок від 1 до 100 нм; 3) молекулярно- та іонно-дисперсні з розміром частинок менше 1 нм. Водневі іони – H^+ і гідроксильні іони – OH^- з'являються у воді в результаті її дисоціації згідно з рівнянням $\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{OH}^-$. Водневі іони можуть також з'явитися в розчинах у результаті дисоціації кислот, наприклад:



гідроксильні іони – в результаті дисоціації лугів, наприклад:



У хімічно чистій воді при температурі +23 °С концентрації іонів H^+ і OH^- рівні один одному і складають 10^{-7} г-іон/кг (тобто $C_{H^+} = C_{OH^-} = 1 \cdot 10^{-7}$ г-іон/кг). У цьому випадку вважають, що вода хімічно нейтральна. При збільшенні в розчині концентрації іонів водню H^+ , наприклад унаслідок зменшення концентрації іонів OH^- у процесі гідролізу, реакція води кисла, а при збільшенні концентрації іонів OH^- або, що те ж саме, при зменшенні концентрації іонів H^+ (наприклад, при взаємодії останніх з іонами HCO_3^- , завжди присутніми у воді) реакція води лужна. Таким чином, нейтральна реакція води при $H^+ = 10^{-7}$, кисла реакція при $H^+ > 10^{-7}$ (наприклад, $H^+ = 10^{-6}$, $H^+ = 10^{-5}$ і т. д.), лужна реакція при $H^+ < 10^{-7}$ (наприклад, $H^+ = 10^{-8}$, $H^+ = 10^{-9}$ і т. д.).

На практиці концентрація водневих іонів у воді виражається водневим показником рН, числове значення якого дорівнює від'ємному логарифму концентрації H^+ :

$$pH = -\lg H^+.$$

Хімічно нейтральній воді (розчину) відповідає значення $pH = -\lg 10^{-7} = 7$, вода з кислою реакцією характеризується значеннями $pH < 7$, а з лужною – значеннями $pH > 7$.

Чисельне значення рН води, яка використовується в теплоенергетиці, пов'язане з іншими характеристиками води, що впливають на надійність роботи теплоенергетичного устаткування: корозійною активністю, схильністю до накипоутворення та ін. Підготовка живильної води, вибір водних режимів котельних установок, очищення стічних вод і т. д. проводяться за суворо певних значень рН. Наприклад, колоїдні частинки, що містяться у воді, мають амфотерні властивості, тобто здатні залежно від рН дисоціювати у воді як кислоти або луги. Для колоїдних частинок однієї речовини існує таке значення рН середовища, при якому їх молекули не дисоціюють на іони

і заряди частинок рівні нулю. Такий стан колоїдної системи називається ізоелектричним. Якщо рН середовища більше рН ізоелектричного стану, молекули речовини дисоціюють як кислоти, якщо менше – як луги (тобто, частинки набувають відповідно негативного або позитивного зарядів). Підкислюючи або підлужнюючи воду, можна нейтралізувати заряди частинок, понизити стійкість колоїдної системи і створити сприятливі умови для коагуляції розчину.

Визначення активності іонів водню (значення рН) проводять методом різниці потенціалів між вимірювальним і допоміжним електродами, які занурюються відповідно в досліджуваний і в буферний розчини (рН останнього відомий). Як вимірники використовують електроди водневий, сурм'яний, хінгідронний або скляний, як допоміжні – нормальний, водневий, каломельний або хлорсрібний.

Абсолютну похибку Δ одноразового вимірювання рН потрібно прийняти $\pm 0,05$ рН ($T_1 - T_2 < 5^\circ\text{C}$), $\pm 0,2$ рН ($T_1 - T_2 > 5^\circ\text{C}$), де T_1 – температура довкілля; T_2 – температура води. Результат вимірювання слід записати у вигляді

$$A_d = A \pm \Delta.$$

Приведену похибку одноразового вимірювання можна обчислити за формулою, %

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{\chi_N} 100,$$

де χ_N – діапазон вимірювання приладу, рН (0,00...14,00).

III. Опис лабораторної установки

Як лабораторна установка використовується лабораторний рН-метр типу РНТ-028, загальний вигляд комплексу якого представлений на рис. 1.1.

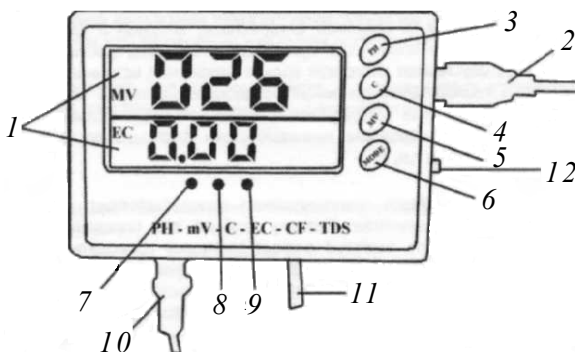


Рис. 1.1. Загальний вигляд прибору РНТ-028:
 1 – дисплей; 2 – адаптер DC6V; 3 – кнопка для режиму вимірювання рН; 4 – кнопка для режиму вимірювання температури; 5 – кнопка для режиму вимірювання ОБП; 6 – кнопка для режиму вимірювання ЕС/CF/TDS; 7 – рознімання для калібрування рН 7; 8 – рознімання для калібрування рН 4; 9 – рознімання для калібрування ЕС/CF/TDS; 10 – рознімання для підключення рН або ОБП електрода; 11 – електрод для вимірювання ЕС/CF/TDS і температури; 12 – перемикач вмикання/вимикання живлення.

Разом з комплектом РНТ-028 у лабораторній роботі використовуються стакани з пробамі води, що аналізуються в роботах 2 і 3, а також нагрівально-охолоджувальний пристрій.

Робота з приладом. Проведення вимірювань рН та загальної жорсткості

1. Зніміть захисний ковпачок із рН електрода та захисну кришку з ЕС електрода.

2. Опустіть електроди в дистильовану воду, потім дістаньте й обережно вмочіть електроди у фільтрувальний папір. Виконувати процедуру при виключеному приборі.

3. Увімкніть прибор, перемкнувши перемикач 12 у положення ON.

4. По черзі опустіть електроди в середовище для вимірювань і злегка побовтайте. Дочекайтеся, поки показання приладу стабілізуються.

5. По закінченні вимірювань вимкніть прибор, перемкнувши перемикач 12 у положення OFF.

6. Установіть захисний ковпачок рН електрода й захисну кришку ЄС електрода.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, порядком установки в робоче положення склянки з аналізованою пробою, порядком роботи рН-метра.

2. Записати технічні і метрологічні характеристики засобів вимірювань, що використовуються в роботі.

3. Відрегулювати висоту ємності так, щоб при вимірюванні термометр та електроди занурювалися в аналізовану пробу води в ємності на 40 мм.

4. Увімкнути прилад РНТ-028 і налаштувати його.

5. Зняти захисний ковпачок з рН і ОВП електрода і захисну кришку з ЄС електрода.

6. Опустити електроди в дистильовану воду, потім дістати і обережно вмочити електроди у фільтрувальний папір. Виконувати процедуру при вимкненому приладі.

7. Увімкнути прилад за допомогою бічного перемикача.

8. Вибрати режим залежно від підключених електродів, натиснувши кнопки: рН – при підключеному рН електроді, *mV* – при підключеному ОВП електроді. По черзі опустити електроди у воду для вимірювань і злегка перемішати.

9. Дочекатися, поки показання приладу стабілізуються.

10. Для вибору питомої електропровідності (ЄС), CF (conductivity factor – фактор електропровідності) або TDS натискати кнопку MODE. Прилад виводить значення електропровідності в європейських одиницях EC (Electro Conductivity): $1 \text{ EC} = 2000 \text{ мкСм} / \text{см}$.

11. Для вимірювання температури помістити електрод ЄС з металевим шупом у воду, потім натиснути кнопку °С.

12. Після закінчення вимірювань вимкнути прилад за допомогою бічного перемикача. Встановити захисні ковпачки електродів.

13. Для вимірювання аналізованої проби в склянці ємності:

а) нагріти пробу до $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$, зняти значення рН проби у міру нагрівання розчину через 5°C ;

б) зняти значення рН проби у міру охолодження розчину через 5°C , до температури $+25^\circ\text{C}$;

в) визначити похибку вимірювання;

г) результати вимірювань і розрахунків занести до таблиці за формою 1.1.

Форма 1.1

Номер досліджу	Температура розчину, °С	Покази приладу	Абсолютна похибка вимірювання	Результат вимірювання
			рН	

Примітки: 1) відлік показів рН-метра слід проводити не раніше, ніж через 1 хв після занурення перетворювачів в аналізовану пробу води (через інертність термокомпенсатора); 2) після закінчення роботи електроди повинні залишатися зануреними у воду.

V. Зміст звіту

1. Короткий опис лабораторної установки, технічні і метрологічні характеристики засобів вимірювань.

2. Таблиці з результатами дослідів і розрахунків, необхідні рисунки, графіки $\text{pH} = f(t^\circ)$.

3. Аналіз результатів вимірювань і висновки по роботі (див. "Загальні вказівки").

Контрольні запитання

1. Що називають іонним добутком води?
2. Як можна розрахувати коефіцієнти активності іонів?
3. Від яких параметрів залежить константа дисоціації?
4. Які розчини називають нейтральними, кислими, лужними?
5. У яких межах змінюється водневий показник?
6. Які процеси відбуваються з залізом у кислих розчинах?
7. Яка послідовність виконання даної лабораторної роботи?

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВОДИ

I. Мета роботи

Практичне освоєння методики аналітичного контролю загальної, кальцієвої і магнієвої жорсткості; набуття навиків аналізу води, яка використовується в теплоенергетичних установках.

II. Основні теоретичні положення

Одним з найбільш важливих показників якості води є жорсткість, числове значення якої залежить від концентрації у воді іонів кальцію і магнію. Саме жорсткість у значній мірі обумовлює виникнення шламу у воді і відкладень (накипу) на внутрішніх поверхнях труб і в проточній частині турбін.

Розрізняють наступні форми жорсткості: загальну J_3 , кальцієву J_{Ca} , магнієву J_{Mg} , карбонатну J_K і некарбонатну $J_{нк}$.

Загальна жорсткість води J_3 , мг-екв/л, може бути визначена як сума кальцієвої і магнієвої:

$$J_3 = J_{Ca} + J_{Mg} \quad (2.1)$$

або карбонатної і некарбонатної:

$$J_3 = J_K + J_{нк} \quad (2.2)$$

Установлена наступна класифікація жорсткості:

$J_3 < 1,5$ мг-екв/л – мала жорсткість;

$J_3 = (1,5 \dots 3,0)$ мг-екв/л – середня;

$J_3 = (3,0 \dots 6,0)$ мг-екв/л – підвищена;

$J_3 = (6,0 \dots 12,0)$ мг-екв/л – висока;

$J_3 > 12,0$ мг-екв/л – дуже висока.

Визначають загальну жорсткість титруванням аналізованої проби води при певному значенні рН трілоном Б у присутності індикатора. За наявності в пробі іонів кальцію і магнію індикатор забарвлює воду в рожевий колір; при зникненні з води іонів кальцію і магнію (скріплення їх у комплекс трілоном Б (комплексом III)) аналізована проба змінює своє забарвлення на зеленувато-блакитне, що свідчить про завершення реакції. Як індикатор використовують кислотний хром темно-синій, або кислотний хром синій К, або еріохром чорний Т.

Оскільки кожен мілілітр 0,1 н розчину трілону Б (комплексону III) відповідає 0,1 мг-екв/л кальцію і магнію (жорсткості), то загальна жорсткість аналізованої проби води може бути обчислена за формулою мг-екв/л

$$J_3 = \frac{a \cdot K \cdot n \cdot 1000}{V}, \quad (2.3)$$

де a – об'єм розчину трілону Б (комплексону III), що пішов на титрування, мл; K – коефіцієнт децинормальності цього розчину; n – нормальність розчину, мг-екв/л; V – об'єм аналізованої проби води, мл.

Жорсткість води, обумовлена присутністю в ній тільки іонів кальцію, називається кальцієвою жорсткістю J_{Ca} мг-екв/л. Іони кальцію Ca^{2+} в маломінералізованих водах по кількості займають перше місце. Визначення J_{Ca} проводиться тим же методом, що і визначення J_3 . Різниця полягає тільки

в тому, що проба води повинна бути сильнолужна, тому до неї додають розчин КОН, в присутності якого іони Mg^{2+} практично повністю випадають з розчину, а як індикатор використовують мурексид, що забарвлює лужний розчин у присутності іонів Ca^{2+} в червоний колір, а за відсутності іонів кальцію – у ліловий.

Числове значення Ж_{Ca} визначається за формулою (2.3).

Магнієва жорсткість Ж_{Mg} , мг-екв/л, обумовлюється наявністю в пробі води тільки іонів магнію Mg^{2+} . Ця жорсткість характерна для високомінералізованих вод, де концентрація іонів Mg^{2+} може досягати декількох грамів на літр.

Числове значення Ж_{Mg} визначається з виразу (2.1) за відомих Ж_3 і Ж_{Ca} .

Карбонатна жорсткість Ж_K , мг-екв/л, обумовлюється наявністю у воді бікарбонатів кальцію і магнію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

Числове значення Ж_K і значення її похибки приймаються рівними значеннями загальної лужності і похибки її визначення. Некарбонатна жорсткість $\text{Ж}_{\text{нк}}$, мг-екв/л, обумовлюється наявністю у воді хлоридів, сульфатів та інших некарбонатних солей кальцію і магнію (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , CaSiO_3 та ін.).

Числове значення $\text{Ж}_{\text{нк}}$ визначається з виразу (2.2) при знайдених Ж_3 і $\text{Ж}_K = \text{Л}_3$, де Л_3 – загальна лужність.

У разі багаторазових вимірювань і обчислень жорсткості за формулою (2.3), для оцінки точності результатів, необхідно визначити її середньарифметичне значення:

$$\text{Ж} = \frac{1}{n} \sum^n \text{Ж}, \quad (2.4)$$

знайти відхилення

$$\Delta_{Ж\ 3i} = \bar{Ж}_3 - Ж_3 \quad (2.5)$$

і обчислити середньоквадратичне відхилення результатів вимірювання:

$$\sigma_{Ж3i} = \pm \sqrt{\frac{1 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_{Е\ Ж3i}^2}{n \cdot (n-1)}}. \quad (2.6)$$

Визначити довірчі межі ε_p , за межі яких із заданою довіркою ймовірністю $p = 0,95$ не вийде справжнє значення жорсткості в пробі води.

Запис результату:

$$Ж_3 = \bar{Ж}_3 \pm \varepsilon_p, \quad (2.7)$$

де $\varepsilon_p = \sigma_{Ж3i} \cdot t_p$.

Коефіцієнт t_p визначається за таблицею Лапласа, виходячи з умови, що розподіл похибок підпорядковується нормальному закону. Рекомендоване число дослідів $n = 3 \dots 4$; при $n = 3$ значення $t_p = 4,30$, при $n = 4$ $t_p = 3,18$. Розрахункове значення довірчих меж не повинно перевищувати норму похибки, знайдену за даними [4].

III. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка (рис. 2.1) складається з колби 1, бюретки 3 зі зливним пристроєм 2, ємності 4 з 0,1 н розчином трілону Б, мірної колби 5, двоходового крану 6, піпеток з індикаторами і буферним розчином (на рисунку не показані).

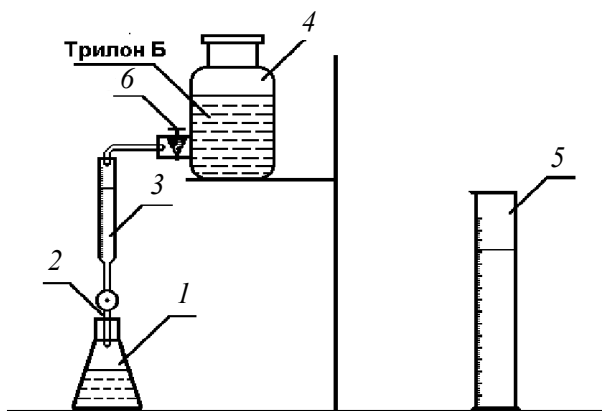


Рис. 2.1 Лабораторна установка

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

1. Ознайомитися з лабораторною установкою, послідовністю заповнення бюретки розчином трілому Б, конструкцією і послідовністю роботи зі зливним пристроєм.

2. Записати технічні і метрологічні характеристики засобів вимірювань, що використовуються в роботі.

3. Визначити загальну жорсткість води, для цього:

а) відкрити двоходовий кран 6 ємності 4 і заповнити бюретку трілоном Б до тих пір, поки середина меніска рідини в бюретці не співпадає з будь-якою оцифрованою відміткою, але не нижче 10, після чого перекрити кран і занести початкове значення об'єму до таблиці форми 2.1.

Середнє арифметичне J_3 , мг-екв/л.

Довірчі межі ε_p , мг-екв/л.

Результат, мг-екв/л;

б) у колбу 1 відміряти 100 мл досліджуваної води мірною колбою 5, додати 5 мл аміачного буферного розчину (для створення певного значення рН) і 7–8 крапель індикатора

еріохромчорного Т; при цьому аналізована проба забарвлюється в рожевий колір;

Форма 2.1

Номер досліджу	Об'єм трілону Б у бюретці, мл		α , мл	Жорсткість загальна, J_3 , мг-екв/л
	початковий $\alpha_{\text{п}}$	кінцевий $\alpha_{\text{к}}$		

в) поставити колбу 1, стискаючи пальцями кульку зливного пристрою 2, поволі титрувати пробу води трілоном Б (весь час інтенсивно перемішуючи) до зміни рожевого забарвлення води на зеленувато-блакитне; припинити титрування, занести до таблиці значення об'єму розчину трілону Б, що залишився в бюретці;

г) обчислити витрату розчину трілону Б і загальну жорсткість води;

д) повторити ще 2 рази весь дослід, як це вказано в пп. "а"..."г", обчислити середнє арифметичне значення жорсткості J_3 , довірчі межі ε_p і записати остаточний результат; ці розрахунки проводити, використовуючи вирази (3)...(6), підставляючи замість лужності L_3 жорсткість J_3 .

4. Визначити кальцієву жорсткість води, для цього:

а) виконати операції п. 3а;

б) у колбу 1 відміряти 100 мл досліджуваної води мірною колбою 5, додати 2 мл 2 н розчину NaOH (для створення сильнолужного середовища) і 10...15 мг сухої суміші (2–5 крапель рідини) індикатора мурексид; при цьому аналізована проба забарвлюється у червоний колір;

в) виконати операції за п. 3в до переходу червоного забарвлення в лілове, припинити титрування, занести кінцеве значення об'єму трілону Б до таблиці за формою 2.1;

г) обчислити витрату розчину трілону Б і кальцієву жорсткість J_{Ca} , використовуючи формулу (2.3); експеримент і обчислення провести одноразово.

5. Визначити магнієву жорсткість води, використовуючи вираз (2.1), де J_3 прийняти рівним середньому значенню J_3 (див. п. 3д), визначити також карбонатну жорсткість, використовуючи результати роботи 1, і некарбонатну жорсткість.

V. Зміст звіту

1. Короткий опис лабораторної установки, технічні та метрологічні характеристики засобів вимірювань, короткі пояснення дослідів, що проводяться.

2. Результати дослідів і розрахунки, рисунки, таблиці.

3. Висновки по роботі і аналіз результатів (див. "Загальні вказівки").

Контрольні запитання

1. Що називають жорсткістю води?
2. Чому жорсткість води слід усувати?
3. Яким чином у природі може утворюватися жорстка вода? Які види жорсткої води розрізняють?
4. Чим обумовлюється тимчасова і постійна жорсткість води?
5. Які способи усунення жорсткості води можуть використовуватися?
6. У чому суть реагентного методу пом'якшення води? Які реагенти при цьому можуть бути використані? Які реакції протікають?
7. Чи можна зм'якшувати воду за допомогою іонного обміну?
8. Як визначають загальну, карбонатну і некарбонатну жорсткість води?
9. Яка послідовність виконання даної лабораторної роботи?

Лабораторна робота № 3

ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ЕЛЕКТРОКОАГУЛЯЦІЇ

I. Мета роботи

Вивчення принципу дії і конструкції електрокоагуляційної установки, що використовується для освітлення води в промисловій енергетиці.

II. Основні теоретичні положення

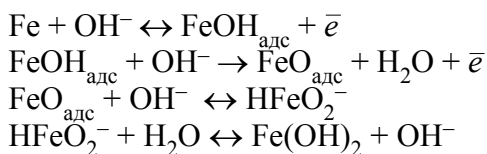
Метод електрокоагуляції забезпечує високі показники очищення побутових стічних вод і стічних вод ряду галузей промисловості.

В основі методу лежить електрохімічне розчинення металу, іони якого, гідролізуючись, утворюють в оброблюваному середовищі малорозчинні гідроксиди. В процесі електрокоагуляції всі складові стічної рідини зазнають складного впливу. Основні елементи цього впливу, що призводять до зниження рівня забрудненості води, наступні: коагуляція полідисперсних солей, сорбція забруднень флокулами гідроксидів металу, співосадження, окисно-відновні реакції, що протікають на поверхні електроду.

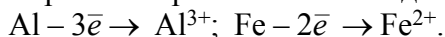
З технологічної точки зору метод електрокоагуляції є складним і об'єднує два процеси – електрокоагулювання та відділення дисперсної частини. Ефективність методу залежить від оптимальної дії чинників обох процесів.

Порівняно з реагентним коагулюванням при електрохімічному розчиненні металу (анодна поляризація) не відбувається збагачення води аніонами SO_4^{2-} , Cl^- та іншими солями. Це в поєднанні з компактністю установок створює передумови для застосування методу електрокоагуляції в замкнутих системах водозабезпечення промислових підприємств.

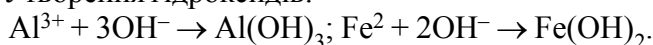
При протіканні електричного струму через розчин електроду на позитивному електроді (аноді) та негативному (катоді) проходять окисно-відновні реакції. Анодне розчинення металевих анодів здійснюється за складним багатостадійним процесом. Для сталевих електродів цей процес виглядає наступним чином:



Електродні реакції можуть бути описані спрощеними стехіометричними рівняннями. Анодне окиснення:

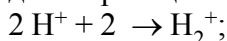


Утворення гідроксидів:

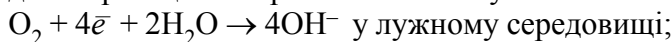


На алюмінієвому чи сталевому катоді протікають наступні реакції:

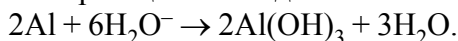
деполяризація мігруючими іонами



деполяризація нейтральними молекулами:



Окрім того, на алюмінієвому катоді можливе протікання хімічних реакцій взаємодії алюмінію з водою:



Протікання електрохімічних процесів на металевих електродах супроводжується адсорбцією на них неорганічних

речовин, котрі можуть прискорювати чи вповільнювати швидкість електрохімічних реакцій. Вид електрохімічної реакції та її швидкість визначаються потенціалом електроду ф. Зв'язок потенціалу електроду зі щільністю струму j встановлюється рівнянням Тафеля:

$$j = a + blgj.$$

Таким чином, щільність струму являється основним параметром кінетики анодного процесу. Практично щільність визначається зі співвідношення:

$$J = I/S, \quad (3.1)$$

де I – діючий струм, А; S – активна поверхня електроду, м².

Концентрація іонів металу, що перейшли в електроліт, досить точно, згідно з першим законом Фарадея, описується рівнянням

$$C^T = \frac{ka_{me}IT}{W}, \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт виходу металу за струмом; a_{me} – електрохімічний еквівалент металу, г/(А·с); T – тривалість електролізу, с; W – об'єм води, що оброблюється, м³.

Коефіцієнт виходу металу за струмом характеризує оптимальність ведення процесу, зокрема оптимальність таких параметрів, як щільність струму, температура води, швидкість руху води в міжелектродному просторі, рН електроліту. Числове значення коефіцієнта визначається за виразом

$$k = a_{on} / a_{me}, \quad (3.3)$$

де a_{on} – дослідне значення виходу металу за струмом, г/(А·с).

Теоретичні значення a_{me} для заліза і алюмінію дорівнюють:

$$a_{Fe^{2+}} = 0,289 \cdot 10^{-3};$$

$$a\text{Fe}^{3+} = 0,193 \cdot 10^{-3};$$

$$a\text{Al}^{3+} = 0,932 \cdot 10^{-3}.$$

Дослідним шляхом із рівняння (3.2) знаходять коефіцієнт k , враховуючи, що $C^T W = m_0 - m_T$, де m_0 і m_T – маси електродів до і після анодної поляризації, г:

$$k = \frac{m_0 - m_T}{a_{me} I T}. \quad (3.4)$$

До найважливіших показників ефективності методу електрокоагуляції належать питоме навантаження на іон металу a , г/г, ефективність очищення води E та питомі витрати електроенергії p , Вт·с/м³, які визначаються за наступними формулами:

$$a = \frac{C_j^0 - C_j^T}{C_{me}^T}, \quad (3.5)$$

де C_j^0 та C_j^T – вихідна та кінцева концентрації j -го компоненту стічних вод, г/м³; C_{me}^T – доза металу за іоном, г/м³,

$$E = \frac{C_j^0 - C_j^T}{C_j^0} 100 \%, \quad (3.6)$$

$$p = \frac{I U_T}{W}, \quad (3.7)$$

де U – напруга на шинах електродного пакету, що підводять електроенергію, В.

III. Опис лабораторної установки

Експериментальна установка контактного типу складається з моделі електрокоагулятора-відстійника і допоміжного устаткування. Схема установки приведена на рис. 3.1.

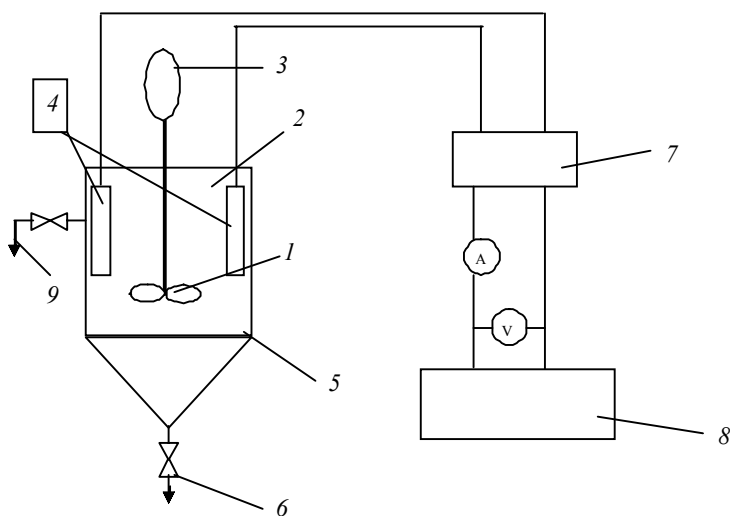


Рис. 3.1. Схема експериментальної установки:

1 – лопаті мішалки; 2 – зона відстоювання; 3 – мішалка;
4 – пакет електродів; 5 – корпус; 6 – випускний патрубок;
7 – реверс-перемикач; 8 – блок живлення; 9 – вихідна вода

В електродній камері знаходиться пакет електродів 4, що являє собою плоскі металеві пластини, які з'єднуються провідниками і підключаються до блоку живлення постійного струму.

У зону відстоювання поміщається ротор механічної мішалки з лопатями 1. Днище апарату виконане у вигляді трикутної призми і має патрубок 6 для випуску осаду і води з установки.

До складу допоміжного устаткування входять: випрямляч змінного струму 8, реверс-перемикач 7, механічна мішалка 3, амперметр та вольтметр.

Експериментальна модель дозволяє демонструвати метод електрокоагуляції в одному апараті. Це досягається використанням декількох режимів роботи установки. Включення джерела постійного струму викликає поляризацію електродної системи і електроліз води, внаслідок чого міжелектродний простір наповнюється дисперсією гідроксиду металу і газової фази. Для ефективного відведення продуктів реакцій з електродного пакету в електродній камері створюється вихідний потік рідини ротором мішалки, що працює на верхній межі частоти обертання. Робота апарату в режимі інтенсивного перемішування триває до моменту досягнення заданої концентрації гідроксиду в перерахунку на іон металу.

Далі відключається джерело живлення, частота обертання мішалки переходить на нижню межу, що забезпечує повільне перемішування, необхідне для флокуляції дисперсної системи. Потім мішалка відключається і флокули, що досягли значних розмірів, осідають у режимі відстоювання.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

У даній роботі метод електрокоагуляції вивчається стосовно очищення стічних вод від синтетичних барвників.

Підготовка досліджуваного розчину. Підготувати шкалу розчинів заданого барвника з концентраціями: 2, 4, 6, 12, 24 та 48 мг/л. Кожен розчин профотометрувати на фотоелектрокалориметрі. Отримані значення оптичної щільності кожного розчину занести до таблиці за формою 3.1.

За результатами досліду побудувати калібрувальний графік в координатах: "Вміст фарбника" – "Оптична щільність".

Підготовка установки до роботи. Пакет електродів вийняти з апарату і зважити на вагах з точністю 0,01 г. Результат

зважування занести в таблицю за формою 3.3. Пакет електродів встановити на місце і з'єднати з електричним ланцюгом установки. Перевірити надійність усіх електричних з'єднань і заземлення випрямного агрегату. Установку заповнити розчином барвника в концентрації 5...10 мг/л. Точне значення вмісту барвника знаходять за калібрувальною кривою, заздалегідь визначивши оптичну щільність розчину. Отримане значення записати в таблицю за формою 3.2.

Форма 3.1. Визначення оптичної щільності

Склад барвника, мг/л	2	4	6	12	24	48
Оптична щільність розчину						

Форма 3.2. Технічні показники і параметри роботи установки

Об'єм установки, м ³	Площа електродів, м ²	Матеріал електродів	Час, с	Щільність струму, А/м ²	Сила струму, А	Напруга, В

Порядок проведення роботи. Параметри "щільність струму" і "час обробки" прийняти за завданням викладача. Рекомендовані значення щільності струмів при анодній поляризації – 60...80 А/м² для залізних електродів і 30...40 А/м² для алюмінієвих. За формулою 3.1 знайти силу струму, яка повинна бути встановлена в ланцюзі електрокоагулятора після його включення, і її значення записати в таблицю за формою 3.2. Ввімкнути випрямний агрегат і регулятором виходу встановити необхідну силу струму, відмітити час початку досліду. За вольтметром визначити величину падіння напруги на електродному пакеті і занести до форми 3.2. У процесі проведен-

ня досліду через кожні 5 хв провести переполюсовку електродної системи реверс-перемикачем для запобігання пасивації електродів.

Після закінчення заданого часу установку послідовно перевести в режим флокуляції тривалістю 5–10 хв і відстоювання, після чого відібрати пробу освітленої води, в якій визначити концентрацію барвника після очищення. Після цього з установки витягнути електродний пакет, промити, висушити і зважити. Значення концентрації барвника і маси електродів занести до таблиці за формою 3.3.

Форма 3.3. Зниження інтенсивності забарвлення

Маса електродного пакета, г		Оптична щільність розчину	
до досліду	після досліду	вихідного	обробленого

V. Зміст звіту

Використовуючи дані форм 3.2 і 3.3, визначити коефіцієнт виходу металу за струмом (3.4), концентрацію барвника в початковому і обробленому розчинах, концентрацію іонів металу (3.2), питоме навантаження на іон металу, ефективність очищення води і питомі витрати електроенергії (3.5)–(3.7). Результати обчислень занести в таблицю за формою 3.4.

Форма 3.4. Ефективність очищення

Коефіцієнт виходу металу за струмом	Концентрація барвника, г/м ³		Концентрація іонів металу, г/м ³	Питоме навантаження на іон, г/г	Ефективність очищення, %	Питома витрата електроенергії, Вт·с/м ³
	Вхідний розчин	Оброблений розчин				

Завдання

За результатами обчислень слід зробити висновок про оптимальність параметрів роботи установки й ефективність очищення води електрокоагуляцією.

Контрольні запитання

1. Наведіть практичне застосування реагентної коагуляції в технології очищення природних і стічних вод.
2. Які коагулянти і флокулянти використовуються в процесах очищення стічних вод.
3. Фактори, що впливають на ефективність дії коагулянтів і флокулянтів у процесах очищення стічних вод.
4. Опишіть схеми застосування коагулянтів і флокулянтів в технології очищення стічних та природних вод.
5. Яка методика вибору реагентів і умов їх застосування в процесі очищення стічних вод?

Лабораторна робота № 4

ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ МЕТОДОМ ІОННОГО ОБМІНУ І ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ

I. Мета роботи

Вивчення принципу дії і конструкції іонообмінної установки, яка використовується для пом'якшення води в промисловій енергетиці.

II. Основні теоретичні положення

Солі, що знаходяться в живильній воді, в процесі пароутворення можуть випадати на внутрішніх поверхнях нагріву у вигляді накипу і призводити до зниження ККД парогенератора, а також до перегріву і втрати міцності металу. Деякі з них можуть виноситися парою в турбіну і порушувати її нормальну роботу. Вміст солей у воді впливає також на її корозійні властивості.

Щоб виключити або, принаймні, зменшити інтенсивність цих небажаних явищ, до якості живильної і парогенераторної води висуваються певні вимоги. Основними показниками якості води, які залежать від вмісту в ній солей, є: жорсткість Ж, яка визначається концентрацією катіонів кальцію Ca^{+2} і магнію Mg^{+2} ; лужність Л – концентрацією іонів OH^- ; солоність – концентрацією іонів хлору Cl^- ; водневий показник pH , що

є від'ємним десятковим логарифмом концентрації водневих іонів H^+ , і загальний солевміст, який характеризується сухим залишком після випарювання профільтрованої води і просушування залишку при температурі 110 °C до постійної маси.

Солі жорсткості є основними елементами, які сприяють утворенню накипу в парогенераторі. Солі, які обумовлюють лужність води, беруть участь в утворенні накипу і впливають на корозійні процеси. Солі хлору утворюють сильні електроліти, в яких протікає електрохімічна корозія металів. Водневе число рН є основним показником корозійної активності води.

Важливими показниками якості живильної води є також вміст в ній кисню та оксидів заліза і міді, а для води парогенератора за фосфатно-нітратного режиму водопідготовки, крім того, фосфатне PO_4^{-3} і нітратне $NaNO_3$ числа.

Показники якості води нормуються залежно від призначення, конструкції парогенератора і параметрів пари. Наприклад, для атомних енергетичних установок загальна жорсткість живильної води повинна бути 0,5 мкг – екв/л, солоність (хлоріонів) не більше 0,02 мг/кг; для водотрубних парогенераторів з природною циркуляцією, що працюють на органічному паливі, відповідно 1,0 мкг-екв/л і 0,1 мг/кг, а прямоточних – 0,05 мкг-екв/л і 0,02 мг/кг. Величина рН при застосуванні аустенітної сталі і цирконію повинна складати 6,5...8,0, а вуглецевих сталей 8,5...9,0.

У процесі пароутворення в парогенераторі відбувається накопичення солей і утворення шламу, яке вимагає часткового видалення (продування) води парогенератора з метою підтримки концентрації солей на допустимому рівні.

Поповнення продувної води, а також витоків пари і конденсату проводиться додатковою водою, яка готується в цехах з поверхневих водоймищ або з водопровідної води шляхом її пом'якшення.

У живильній воді парогенераторів паротурбінних установок міститься близько 1...5 % додаткової води. При використанні пари на технологічні потреби додаткова пом'якшена вода може складати 20...40 % від паропроодуктивності парогенератора.

У даній роботі пом'якшення води проводиться хімічним методом іонного обміну, який набув найбільшого поширення. Одночасно з виконанням роботи з пом'якшення води визначаються показники якості води: жорсткість і водневе число рН.

Хімічне знесолення води проводять за рахунок введення реагентів, які, взаємодіючи з іонами солей жорсткості, що знаходяться в ній, утворюють шлам, який згодом випадає в осад. Такий метод застосовують в основному для внутрішньої парогенераторної водопідготовки. При зовнішньому парогенераторному знесоленні більшого поширення набув метод іонного обміну, коли використовуються спеціальні нерозчинні речовини, іонітові смоли, які при контакті обмінюють деякі свої іони на іони солей, що знаходяться в оброблюваній воді.

На рис. 4.1 показана схема молекули іонітів, основу якої складає тверда нерозчинна у воді високомолекулярна сітка 1; також до складу молекули входять хімічно активні функціональні групи атомів, які у воді дисоціюють на іони. Частина цих іонів 3 (позитивних або негативних) міцно пов'язані з твердою сіткою і додають їй відповідний заряд. Іони протилежного знаку 2 утворюють дифузійний шар. Ці іони володіють підвищеною кінетичною енергією і є обмінними. Вони можуть залишати дифузійний шар і переходити в розчин, а на їх місце з розчину, у свою чергу, можуть поступати інші іони того ж знаку.

Іонітові смоли, в яких обмінні іони заряджені негативно, називаються аніонітами, а заряджені позитивно – катіонітами. Обробку ними води називають відповідно аніонування і катіонування.

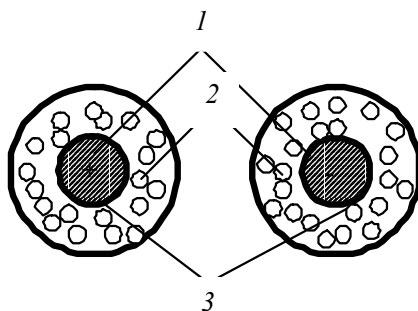


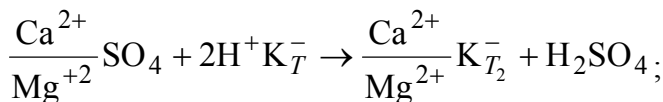
Рис. 4.1. Схема молекули іонітів:

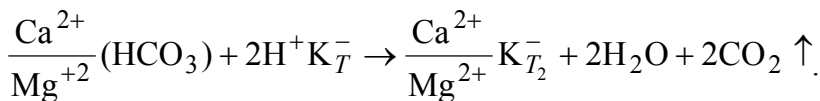
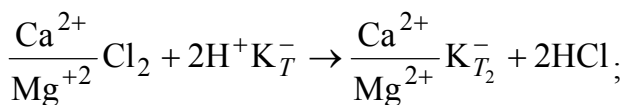
1 – високомолекулярна сітка; 2 – негативні іони; 3 – позитивні іони

Обмінними іонами катіоніту може бути іон водню H^+ , натрію Na^+ або амонію, за яким катіоніт отримує своє найменування, наприклад: водень-катіоніт (Н-катіоніт) позначається $H^+K_T^-$; натрій-катіоніт – $Na^+K_T^-$ амоній-катіоніт – $NH_4^+K_T^-$. Катіоніти діляться на сильнокислотні, які володіють здатністю обмінювати катіони в лужному, нейтральному і кислому середовищах, і слабокислотні – тільки в лужному середовищі.

Для аніонітів – аналогічно, наприклад: аніоніт з обмінним іоном гідроксильної групи OH^- називають OH^- -аніонітом і позначають $A_H^+OH^-$. Він може належати також до групи CO_3^{2-} і HCO_3^- . Аніоніти бувають слабоосновними (здатними до обміну аніонів тільки в кислому середовищі) і сильноосновними (у кислому, нейтральному і лужному середовищах).

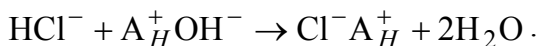
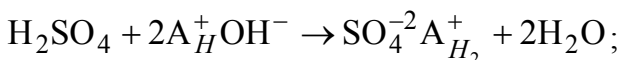
Найчастіше при знесоленні воду спочатку піддають Н-катіонуванню, при якому протікають наступні реакції:





У результаті замість солей некарбонатної жорсткості утворюються сірчана і соляна кислоти, а замість солей карбонатної жорсткості – вода і вуглекислий газ.

Для видалення кислоти, яка утворилася, проводять ОН-аніонування оброблюваної води. При цьому обмінний аніон OH^- утворює з катіонами водню, що містяться в кислому розчині, молекули води, тобто



При тривалій обробці води обмінні властивості катіоніту й аніоніту послаблюються і виникає необхідність в їх відновленні (регенерації). Регенерація катіоніту проводиться пропусканням через нього 2%-ої сірчаної кислоти, а аніоніту – 2%-го розчину лугу, наприклад їдкого натру (NaOH).

Найбільш ефективно знесолення відбувається при застоюванні змішаного фільтру, складеного з сильнокислотного катіоніту, наприклад КУ–2, і сильноосновного аніоніту, наприклад АВ–17. Такий спосіб забезпечує високий ступінь знесолення – залишкова кількість солей не перевищує 0,1... 0,2 мг/кг.

Процес знесолення полягає в послідовній фільтрації мінералізованої води через катіоніт і аніоніт зі швидкістю 0,004 м/с.

Знесолення води способом іонного обміну доцільно проводити, якщо оброблювана вода містить не більше 600 мг/кг солей. При більшому солевмісті доцільніше використовувати термічний спосіб знесолення шляхом дистиляції.

Температура оброблюваної води при застосуванні синтетичних іонітів повинна бути не вище 60 °С.

III. Опис лабораторної установки

Лабораторна установка для іонообмінного пом'якшення (рис. 4.2) складається з наступних елементів:

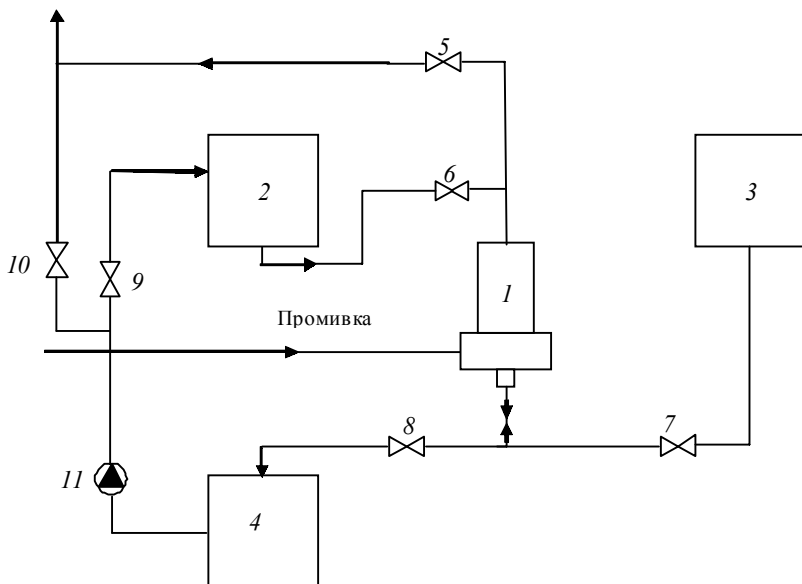


Рис. 4.2. Схема установки іонообмінного знесолення води:
1 – іонний фільтр; 2 – бак вихідної води; 3 – бак з розчином NaCl;
4 – бак із пом'якшеною водою; 5–10 – вентилі; 11 – насос

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

Порядок проведення роботи з пом'якшення води і визначення її основних показників якості наступний:

- установка під'єднується до водопроводу;
- при відкритті клапану 5 протягом 10 хвилин подається вода з водопроводу, при цьому проводиться промивання і розпушування іоніту у фільтрі;
- після розпушування водопровідна вода наливається в бак 2;
- відкривається клапан 6, проходить процес пом'якшення;
- у баку 2 беруть пробу для аналізу води, що підлягає пом'якшенню;
- пробу після пом'якшення беруть в баку 4;
- проводять аналіз узятих проб для визначення основних показників якості пом'якшеної води. Результати вимірювань заносять до форми 4.1.

Форма 4.1

Найменування проби води	Показники	
	жорсткості, мг-екв/л	рН-метра, одиниці рН
Вода перед пом'якшенням		
Вода, оброблена в фільтрі		

У даній роботі як приклад визначають тільки два показники – загальну жорсткість (Лабораторна робота № 2) та водневе число рН (Лабораторна робота № 1).

V. Зміст звіту

У звіті необхідно зробити оцінку прийнятності пом'якшеної води для живлення парогенераторів.

Навести:

- короткий опис роботи;
- принципову схему установки;
- результати вимірювань та їх обробку;
- висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Яку воду називають живильною і яку парогенераторною?
2. Який склад живильної води для парогенераторів?
3. За якими показникам оцінюють якість живильної і парогенераторної води?
4. Які способи пом'якшення води ви знаєте, і на якому принципі вони засновані?
5. Назвіть допустимі значення основних показників якості живильної води для водотрубних парогенераторів.
6. Яка послідовність виконання даної лабораторної роботи?

Лабораторна робота № 5

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДИСТИЛЯТОРА

I. Мета роботи

Вивчення принципу дії і конструкції дистилятора, який використовується для опріснення або знесолення котлової води та води для господарсько-питних потреб.

II. Основні теоретичні положення

Процес видалення солей з води залежно від ступеня їх вилучення називається опрісненням або знесоленням. При опрісненні води концентрацію розчинених солей доводять до межі, близької до вмісту їх у прісних водах, при знесоленні – до вмісту їх у дистильованій воді.

Опріснення води застосовують при отриманні води, придатної для господарсько-питних потреб з використанням засолених або сильномінералізованих природних вод (морська, ґрунтова вода в посушливих районах). Знесолення використовують для отримання живильної води для котлів високого тиску і прямоочних, а також для деяких виробництв.

Опріснити чи знесолити воду можна видаленням з неї солей або витяганням самих молекул води. До першої групи методів відносяться:

– хімічні – іонний обмін, осадження розчинених сполук;

- електрохімічні – електродіаліз, електроліз розчинених солей з поглинаючими електродами;
- осмотичні – зворотний осмос (гіперфільтрація), іоноосмос;
- біологічні та ін.

Друга група методів включає в себе:

- сепарацію води у вигляді пароподібної фази – дистиляція або випарювання з використанням звичайного палива, ядерного пального, сонячного тепла або тепла геотермальних вод;
- вилучення води в рідкій фазі – екстракція різними розчинниками;
- виділення води в тверду фазу – заморожування, зонне охолодження льоду, газогідратний метод.

У даний час з перерахованих методів отримали практичне застосування: іонний обмін, електродіаліз і дистиляція. При проектуванні опріснювальних установок вибір методу необхідно проводити на підставі техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням вартості реагентів, електроенергії, палива, солоної води і води для охолодження конденсаторів випарної установки. Для орієнтовної оцінки можна приймати, що опріснення вод з солевмістом до 2...3 г/л найекономічніше проводити іонним обміном, вод з солевмістом 2,5...15 г/л – електролізом і вод з вмістом солей більше 10 г/л – дистиляцією.

У даній роботі ми досліджуємо метод випарювання.

Метод опріснення і знесолення води шляхом випарювання – найбільш старий, але він і до теперішнього часу є найпоширенішим способом отримання прісної води. Суть його полягає в нагріві солоної води до температури кипіння, в перетворенні її на пару і подальшій конденсації пари з отриманням чистої води. Витрата тепла при цьому складається з теп-

ла нагріву води до температури кипіння, залежної від солесмісту і тиску, а також тепла фазового переходу води в пару, – так званої прихованої теплоти паротворення. При конденсації пари у неї необхідно відняти тепло фазового переходу.

III. Опис лабораторної установки

Головним елементом лабораторної установки для термічного знесолення води є електричний дистилятор (рис. 5.1), що включає наступні основні елементи: випарник 10 з електронагрівачами 12 і поплавцем 11 для їх автоматичного включення за допомогою мікровимикачів 9, конденсатора пари 8 із змійовиковою охолоджуючою поверхнею 7 і трубою 6 для відведення конденсату, регулятора рівня 4 і кожуха 1. Випарник з конденсатором пари сполучається горловиною 5.

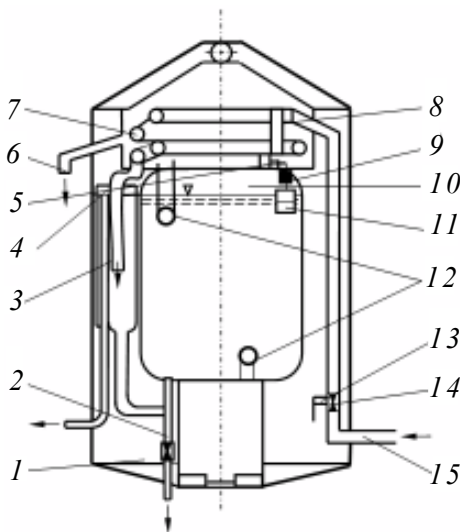


Рис. 5.1. Дистилятор електричний:

- 1 – кожух; 2 – патрубок; 3 – переливна труба; 4 – регулятор;
5 – горловина; 6 – труба; 7 – змійовик; 8 – конденсатор пари;
9 – мікровимикач; 10 – випарник; 11 – поплавець; 12 – електронагрівач;
13 – маховик; 14 – клапан; 15 – трубопровід

Для дистиляції використовується водопровідна вода, яка по трубопроводу 15 через клапан 14, керований маховиком 13, підводиться в змійовик охолоджувача 7, де за рахунок охолодження пари підігрівається і надходить в зрівняльну ємність регулятора 4 і випарник 10. Надлишок води зливається через переливну трубу 3, підтримуючи, таким чином сталий рівень води у випарнику. У випарнику вода нагрівається електронагрівачем 12, кипить і перетворюється на пару, яка прямує в конденсатор 8, де конденсується в дистилят. З конденсатора дистилят зливається по відповідній трубі 6.

Унаслідок випаровування водопровідної води концентрація солей у випарнику зростає. Допустима концентрація солей підтримується шляхом продування частини води (розсолу) з випарника через патрубок 2.

Вміст солей у дистиляті за рахунок вилучення з парою крапельок води з випарника не перевищує 1...5 мг/кг.

Основні характеристики дистилятора наступні:

продуктивність.....	4±0,3 л/год;
витрата охолоджуючої води.....	120 л/год;
потужність електронагрівачів.....	3,6±0,36 кВт;
напруга.....	220 В;
маса.....	14 кг.

Перед введенням дистилятора в роботу необхідно перевірити його заземлення.

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

Порядок включення в роботу наступний:

– дистилятор вмикають у мережу, при цьому спалахує контрольна лампа;

– відкривають клапан подачі води у випарник і заповнюють його протягом 10 хв до робочого рівня; досягши робочого рівня, спалахує контрольна лампа "distillate", що свідчить

про автоматичне включення електронагрівачів і початок процесу дистиляції;

– приблизно через 10 хв після того, як почнеться "видача" дистиляту, проводять регулювання кількості охолоджуючої води, що підводиться в конденсатор, так, щоб її температура на виході була рівною 70 °С.

У даній роботі визначаємо солоність води, продуктивність установки та питомі витрати тепла на отримання одного літру дистиляту.

Порядок проведення роботи по знесоленню води і визначенню її основних показників якості наступний:

- беруть пробу для аналізу води, що підлягає знесоленню;
- знесолюють воду шляхом дистиляції обміну в установці (див. рис. 5.1) і беруть проби води для аналізу;
- проводять аналіз узятих проб для визначення основних показників якості знесоленої води. Результати вимірювань заносять в форму 5.1.

Форма 5.1

Найменування проби води	Показання солеміру	
	мг/кг	Ом-см
Вода перед дистиляцією		
Дистилят		
Кубовий залишок		

Солевміст визначають за допомогою приладу для виміру загальної мінералізації (солевмісту) і електропровідності води ЄС1385.

Прилад має два режими вимірювань: електропровідності (ЄС) та солевмісту (мінералізації) (TDS ppm).

Вимірювання електропровідності води:

1. Зніміть захисний ковпачок.
2. Увімкніть прилад, натиснувши клавішу ON/OFF.
3. Виберіть режим вимірювань (СС або TDS) – для переключення між режимами натисніть і втримуйте кнопку MODE. На дисплеї приладу буде відображатися обраний режим вимірювання.
4. Помістіть електроди прибору в ємність із водою, злегка помішайте (для видалення пухирців повітря).
5. Вимірювання здійснюйте протягом 10–15 секунд, після чого не виймаючи прибор з води, натисніть один раз кнопку HOLD.
6. Стряхніть воду, що залишилася, обітріть сухою ганчіркою і закрийте ковпачок.
7. Для оцінки рівня мінералізації (TDS) зчитайте показання приладу і проведіть оцінку за допомогою прикладеної шкали (див. нижче) для оцінки вимірювань.

Рекомендується проводити три вимірювання. За остаточний результат береться середнє значення.

Вимірювання загальної жорсткості води по електропровідності. Метод вимірювання загальної жорсткості води по електропровідності дозволяє скласти точне уявлення про загальну жорсткість води в тому випадку, якщо вода не підсолювалася повареною сіллю й не регулювалася рН засобами типу рН–мінус, рН–плюс та іншими кислотами і лугами. Для вимірювання загальної жорсткості необхідно виміряти електропровідність і зіставити отримане значення відповідно до графіка, складеного на основі аналізу зразків природних вод і наведеного нижче (рис. 5.2).

Вертикальна вісь графіка позначає показання питомої електропровідності, мкСм/см, отримані в результаті виміру приладом. Горизонтальна вісь – німецькі градуси *dGH* загальної жорсткості.

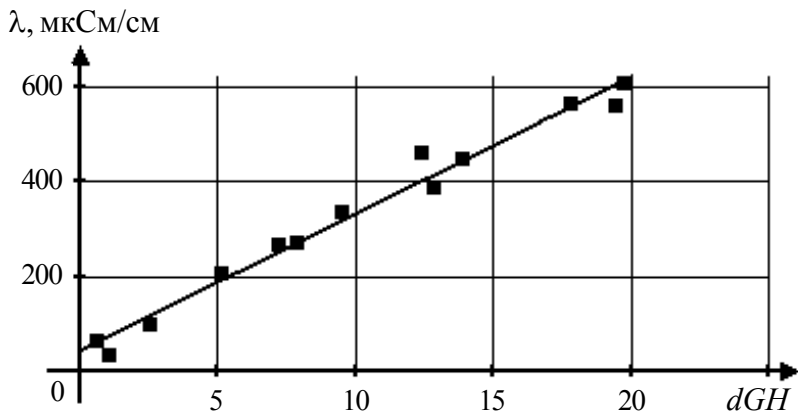


Рис. 5.2. Графік залежності загальної жорсткості від електропровідності

Оскільки жорсткість у різних країнах виражається в різних одиницях, то при необхідності, німецькі градуси можна перевести в інші одиниці жорсткості, відповідно до наведеної нижче форми.

Форма 5.2

Найменування одиниць	мг-екв/л	Градус жорсткості			
		німець- кий	французь- кий	американ- ський	англій- ський
1 мг-екв/л	1,000	2,804	5,005	50,045	3,511
1 німецький градус dGH	0,357	1,000	1,785	17,847	1,253
1 французький градус	0,200	0,560	1,000	10,000	0,702
1 американ- ський градус	0,020	0,056	0,100	1,000	0,070
1 англійський градус	0,285	0,799	1,426	14,253	1,000

Наступним етапом лабораторної роботи є визначення питомої витрати енергії на отримання дистиляту.

Порядок визначення наступний:

- вимірюємо температуру води для охолодження $t_{\text{поч}}, ^\circ\text{C}$;
- вимірюємо температуру $t_{\text{ох}}, ^\circ\text{C}$ та витрату $G_{\text{ох}}, \text{кг/год}$, води після охолодження дистиляту;
- визначаємо продуктивність установки $G_{\text{дис}}, \text{кг/год}$;
- вимірюємо температуру $t_{\text{кз}}, ^\circ\text{C}$, та витрату $G_{\text{кз}}, \text{кг/год}$, кубового залишку;
- за формулою $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$ визначаємо витрату тепла на перегонку дистиляту, де Q_1 – витрати тепла на охолодження дистиляту, кДж; Q_2 – витрати тепла на випаровування дистиляту, кДж; Q_3 – витрати тепла на нагрів кубового залишку, кДж;
- визначаємо Q_1 за формулою $Q_1 = G_{\text{ох}} \cdot c \cdot (t_{\text{поч}} - t_{\text{ох}})$, де c – питома теплоємність води, кДж/(кг · К);
- визначаємо Q_2 за формулою $Q_2 = G_{\text{дис}} \cdot r_{\text{дис}}$, де $r_{\text{дис}}$ – теплота пароутворення дистиляту, кДж/кг;
- визначаємо Q_3 за формулою $Q_3 = G_{\text{кз}} \cdot c_{\text{кз}} \cdot (t_{\text{поч}} - t_{\text{кз}})$, де $c_{\text{кз}}$ – питома теплоємність кубового залишку, кДж/(кг · К);
- визначаємо питомі витрати енергії на отримання дистиляту p , кДж/кг, за формулою $p = Q / G_{\text{дис}}$.

V. Зміст звіту

У звіті необхідно зробити оцінку прийнятності знесоленої води для живлення парогенераторів.

Звіт повинен містити:

- короткий опис роботи;
- принципову схему установки;
- результати вимірювань та їх обробку;
- висновки по роботі.

Контрольні запитання

1. Що таке дистиляція?
2. Чим відрізняється дистиляція від ректифікації?
3. Наведіть рівняння матеріального балансу для процесу дистиляції.
4. Назвіть основні елементи лабораторної установки.
5. Наведіть методику проведення досвіду.
6. Послідовність обробки експериментальних даних.

Лабораторна робота № 6

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ

ЕЛЕКТРОДІАЛІЗНОГО АПАРАТА

I. Мета роботи

Ознайомлення з конструкцією електродіалізатора і методикою отримання основних його характеристик.

II. Основні теоретичні положення

Найбільш економічним і екологічним методом опріснення води є електромембранний метод.

Електропровідність розчинів електролітів (провідників другого роду), до яких відносяться і природні води, обумовлена переміщенням іонів. Опріснення води електродіалізом (електрохімічне опріснення) ґрунтується на тому, що при пропусканні через неї постійного струму катіони рухаються до катода, а аніони – до анода. Відокремивши анодний і катодний простір від решти об'єму води проникними для іонів діафрагмами, в проміжному просторі можна отримати воду зі значно меншим солевмістом, ніж у вихідній воді.

У звичайних трикамерних електродіалізаторах з пористими діафрагмами вихід за струмом дуже низький унаслідок даремного перенесення H^+ і OH^- іонів, переміщення іонів розчинених солей з електродних камер через середню камеру, дифузії катіонів і аніонів в середній об'єм та ін. Тому елект-

родіаліз почали застосовувати для опріснення води лише з появою селективних мембран – аніонопроникних і катіонопроникних, що володіють хорошою електропровідністю і великим опором дифузії. Їх використання дозволило створити багатокамерні електродіалізатори (до 100–200 камер в одній ванні) з прийнятною для практики витратою електроенергії.

Селективно-проникні мембрани виготовляють з іонітних матеріалів – катіонітів та аніонітів. Такі мембрани можуть бути гомогенні, гетерогенні і просочувальні. Перші цілком складаються з іонітного матеріалу, другі готують з тонкоподрібненого іоніту і плівкоутворюючої речовини, треті отримують в результаті просочення пористих листових матеріалів речовинами, здатними утворювати іонообмінні смоли. Електропровідність іонітових мембран, як правило виражають величиною їх поверхневої електропровідності – електропровідністю мембрани при фактичній її товщині і площі 1 см^2 , розмірність $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$; у розрахунках зручніше застосовувати – зворотну величину – питомий поверхневий опір, розмірність $\text{Ом} \cdot \text{см}^2$. Селективність мембран характеризують число перенесення; для ідеально селективної мембрани число перенесення дорівнює 1,0.

Опис методу вимірювання. Метод голографічної спекл інтерферометрії полягає в порівнянні хвильових фронтів, принаймні, один з яких відновлений голографічним способом. Отже, йдеться про порівняння хвильових фронтів, які рознесені в часі. Існують два основні методи – метод реального часу і метод двох експозицій.

Метод двох експозицій полягає в тому, що на одну фотоплівку записуються послідовно два різних, але інтерферометрично порівнянних fronti. При їх одночасному відновленні отримується інтерференційна картина, за якою можна стверджувати про відмінність хвильових фронтів і про причини, що їх викликали.

Метод реального часу полягає в порівнянні відновленого при проходженні хвильового фронту з реальним фронтом, проходженні світла, що сформувалося, через останній об'єкт. Інтерференційна картина виникає в тому випадку, якщо є інтерференційна різниця ходу між променями, в даному випадку різниця ходу виникає через показник заломлення в осередку.

$$\Delta L = L(n - n_0), \quad (6.1)$$

де L – довжина ходу променя в електроліті; n – показник заломлення поточний; n_0 – показник заломлення початковий.

Кількість інтерференційних смуг, що отримуються:

$$N - N_n = \frac{\Delta L}{\lambda}, \quad (6.2)$$

де λ – довжина хвилі світла, для He-Ne лазера 638,5 мкм; N_n – початкове число смуг; N – поточне число смуг.

Різниця показника заломлення Δn залежить від густини середовища, а отже, від температури, концентрації та інших характеристик. Припустимо, що внесок концентрацій набагато більший. Тоді формулу (6.2) можна записати у вигляді

$$\Delta N = \frac{L}{\lambda} \frac{dn}{dc} (C - C_0),$$

звідки

$$C = C_0 + \frac{\Delta N \lambda}{L} \frac{1}{dn/dc}. \quad (6.3)$$

Отже, для визначення концентрації електроліту необхідно знати величину похідної dn/dc . Для кожного розчину ця величина має різне значення, яке залежить і від довжини хвилі світла.

Спеціальними таріровними дослідженнями встановлено, що $dn/dc = 2,0626 \cdot 10^{-4}$ г/л для даної довжини світлової хвилі.

Таким чином, для даної установки при $\lambda = 532$ нм; $L = 10 \cdot 10^{-3}$ м різниця концентрацій між сусідніми смугами складає $\Delta C = 0,320$ г/л.

Тепер можна за зміною інтерференційної картини розрахувати концентраційне поле в осередку, якщо прийняти, що вплив решти чинників несуттєвий.

III. Опис лабораторної установки

Основним елементом електрохімічної опріснювальної установки є багатокамерний електродіалізатор, зазвичай фільтр – прісного типу, схема його наведена на рис. 6.1. Кожна камера обмежена з одного боку аніонітовою і з іншого боку катіонітовою мембранами, розділеними рамками з діелектрика. Чергуючись, вони використовуються для циркуляції опріснюваної води (діалізата) і розсолу, в якому нагромаджуються іони, що вилучаються з води. При протіканні через таку ванну постійного електричного струму катіони розчинених у воді солей, рухаючись в камерах В у напрямі катода, проходять через катіоноактивні мембрани в камери розсолу, що знаходяться справа. Одночасно аніони, рухаючись в камерах у напрямі анода, проходять через аніоноактивні мембрани в камери, що знаходяться зліва. Подальшому просуванню катіонів перешкоджають непроникні для них аніоноактивні мембрани, просуванню аніонів перешкоджають катіоноактивні мембрани. В результаті солі з води, що знаходиться в камерах, у вигляді іонів переносяться к електродам, де вони і накопичуються. Розділяючі мембрани рамки виготовляють з клінгеріту, пароніту, гуми, поліетилену, полівінілхлориду або інших неелектропровідних і негігроскопічних матеріалів; вони можуть бути лабіринтового або прокладкового типів. В перших рамки забезпечені звивистими перетинками, що створюють

вузькі канали, по яких протікає між мембранами діалізат або розсіл; у других рамки утворюють зовнішні стінки камери, а мембрани підтримуються вкладеними в рамку гофрованими і просторового плетіння сітками-прокладками, які виготовляють з діелектриків (полівінілхлорид, поліетилен, капрон та ін.).

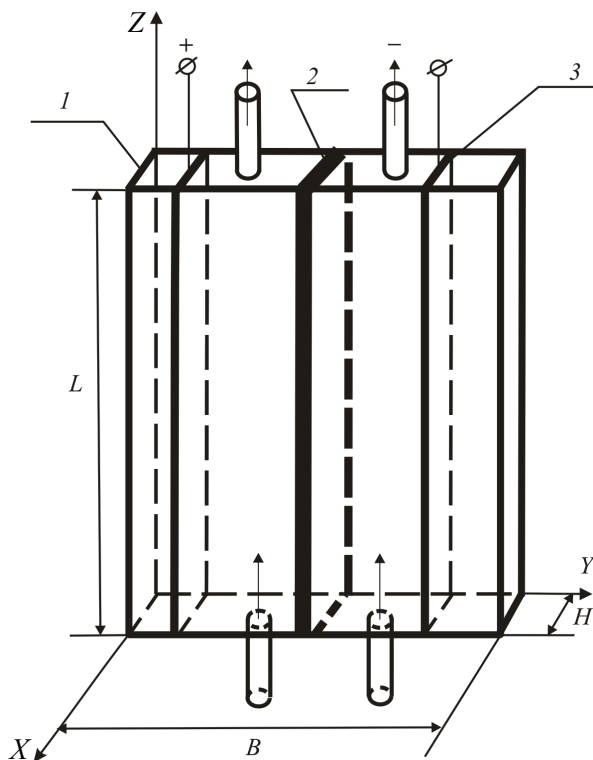


Рис. 6.1. Схема багатокамерного електродіалізатора:
1 – скляна кювета; 2 – мембрана; 3 – електроди

Електроди, що встановлюються в плитах торців, якими за допомогою стяжних болтів стискаються рамки і мембрани опріснювальних ванн, виготовляють з матеріалів, стійких до окислювальних середовищ, – платина, платинований титан,

графіт, магнетит. Для живлення електродіалізних ванн використовують випрямлений струм напругою, до 380 В. Самі ванни можна розміщувати так, щоб вісь електричного поля була горизонтальною або вертикальною. Проте вихід діалізату і розсолу необхідно розташовувати у верхній частині для кращого відведення газів, що виділяються при нагріві електроліту і розкладанні бікарбонатів. Хлор, що виділяється на аноді, може використовуватися для знезараження опрісненої води.

Схема лабораторного стенду представлена на рис. 6.2.

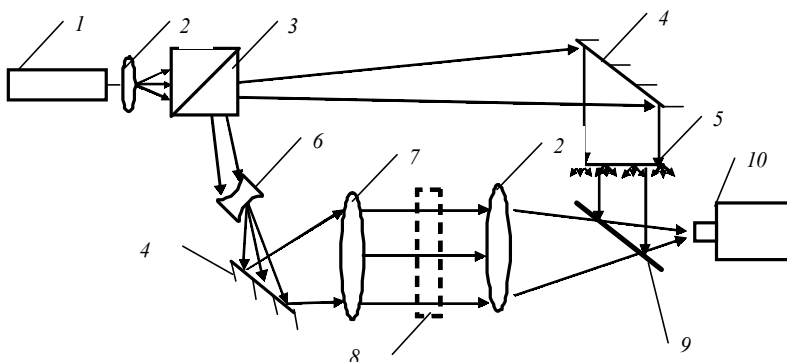


Рис. 6.2. Схема лабораторного стенду:

- 1 – світлодіодний лазер; 2 – збираюча лінза; 3 – світлорозподільчий клин;
4 – плоске дзеркало; 5 – дифузійний розсіювач; 6 – розсіюча лінза;
7 – колімуюча лінза; 8 – багатоканальний електродіалізатор;
9 – 50 % світлоділитель; 10 – кінокамера

IV. Порядок виконання лабораторної роботи

– В електродіалізатор 8 заливають воду, що підлягає зне-солению;

– вмикають лазерний генератор 1;

– середині світлих опорних смуг, які з'являються на інтерференційній картині, приписуються номери 1, 2, 3; середині всіх темних смуг приписується 0,5; 1,5; 2,5 і т. д.;

– подають на осередок електродіалізатора електричний струм різних значень;

– на інтерференційній картині залежно від щільності струму розраховуються зміни концентрації; результати заносимо у форму 6.1.

Форма 6.1

Щільність струму, A/m^2	U , В	Δt , хв	$\Delta \Phi$, шт.	ΔC , г/л

V. Зміст звіту

Обробка результатів вимірювання полягає в порівнянні зміни солемісту від щільності струму при різних режимах опріснення. Побудова графіка залежності $i (A/m^2) = f(C)$.

У висновках необхідно відобразити прийнятність електродіалізу для знесолення води.

Контрольні запитання

1. Яку воду називають знесолоною, а яку – опрісненою?
2. Як розуміти назви: анодна камера; катодна; камера для розсолу?
3. Чому на катоді виділяється хлор?
4. Чому електродіалізні апарати виготовляються з великою кількістю чарунок?
5. З якого матеріалу виготовляються селективні мембрани?
6. У якому випадку виникає інтерферометрична картина?
7. На якому принципі заснований метод голографічної інтерферометрії?
8. Який порядок проведення роботи?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. **Мисак, Й. С.** Водопідготовка, водно-хімічний режим та консервація теплоенергетичного устаткування електростанцій [Текст] : навч. посіб. / Й. С. Мисак, І. Л. Тимофєєв, М. Ф. Заяць ; Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Л. : НВФ "Укр. технології", 2009. – 167 с.
2. **Запольський, А. К.** Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] : підручник / А. К. Запольський. – К. : Вища шк., 2005. – 671 с.
3. **Корінько І.В.** Контроль якості води [Текст] : монографія / І. В. Корінько, В. Я. Кобилянський, Ю. О. Панасенко ; Харків. нац. акад. міського госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 287 с.
4. Международнй стандарт качества 27384-2002. Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств [Текст]. – Минск : Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.
5. ДСТУ 3422 – 96. Установки опріснювальні судові. Терміни та визначення [Текст]. – К., 1996. – 8 с.